



**UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

“DISEÑO DE UN NUEVO MODELO DE SELECCIÓN DE MANTENIMIENTO”

Trabajo De Titulación Previo A La
Obtención del Título De Ingeniera
Industrial

AUTORA: Pamela Fernanda Durazno Chuchuca

DIRECTOR: Ing. Edgar Paul Álvarez Lloret

OCTUBRE 2016
CUENCA-ECUADOR



RESUMEN

El mantenimiento es una de las áreas esenciales dentro de un proceso productivo; es por esto que diseñar un nuevo modelo de selección de mantenimiento es necesario. El nuevo modelo tiene por objetivo principal evaluar una nueva dimensión, *económica*, integrando también otras dimensiones en base a los modelos más utilizados en la actualidad, de manera que se ajuste a la realidad de las organizaciones. La elaboración del nuevo modelo inició con el análisis de dos de los modelos más conocidos, AMFE (ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS) y RCM (MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA FIABILIDAD), analizando sus variables y priorizándolas. Como resultado de este análisis surge la dimensión *análisis de criticidad*. Uno de los principales objetivos fue el acercamiento a la realidad organizacional, por esto se incorporó la dimensión *tamaño de la organización*. Las metodologías de análisis para cada dimensión fueron: para análisis de criticidad, metodología por puntos, para la dimensión tamaño de la organización se tomó el criterio organizativo y para la dimensión económica se utilizó una gráfica explicativa para su posterior análisis. Las tres dimensiones analizadas fueron evaluadas cada una con la metodología más apropiada para su caso. El resultado del análisis dio origen al nuevo modelo de selección de mantenimiento de sencilla comprensión en su ejecución.

Palabras claves: Activo, Mantenimiento, Modelo, Criticidad, Costos.



ABSTRACT

Maintenance is an essential area within a production process. Therefore, designing new selection models for maintenance is necessary. The model proposed in this work includes a new dimension, the *economic* factor, by at the same time integrating other dimensions based on current models, thus fitting the reality of organizations. The development of the new model started with the analysis of two of the most popular models, FMEA (FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS) and RCM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE), analyzing their variables and prioritizing them. Results of this analysis, a *criticality analysis* dimension arises. One of the main objectives was the approach to the organizational reality, thus the dimension *size of the organization* is incorporated. The methodology for each dimension was: for criticality analysis, methodology points, for the dimension size of the organization took the organizational criterion and economic dimension for an explanatory chart was used for further analysis. Each of the three dimensions was assessed with the most appropriate methodology in each case. The result of the analysis gave rise to new maintenance model selection which can be easily adopted in companies.

Keywords: Active, Maintenance, Model, Criticality, Costs.



ÍNDICE

1	Introducción	7
2	Desarrollo del modelo.....	8
2.1	Análisis de modelos de selección de mantenimiento existentes	9
2.1.1	Análisis modal de fallos y efectos (AMFE).....	9
2.1.2	Mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM).	10
2.2	Análisis de variables de los modelos AMFE y RCM	15
2.3	Definición de dimensiones de estudio	20
2.4	Elaboración del modelo (Análisis de dimensiones)	22
2.4.1	Dimensión económica.....	22
2.4.2	Dimensión tamaño de la organización	25
2.4.3	Dimensión análisis de criticidad	25
2.5	Modelo de selección de mantenimiento.....	27
3	Conclusiones	31
	Bibliografía	32



Pamela Fernanda Durazno Chuchuca, autora de la tesis “Diseño de un nuevo modelo de selección de mantenimiento”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniera Industrial. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 11 de Octubre del 2016

Pamela Fernanda Durazno Chuchuca

C.I: 010720291-3



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Pamela Fernanda Durazno Chuchuca, autora de la tesis "Diseño de un nuevo modelo de selección de mantenimiento", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 11 de Octubre del 2016

Pamela Fernanda Durazno Chuchuca

C.I: 010720291-3



1 Introducción

Actualmente, las organizaciones tanto de bienes como de servicios, sienten la necesidad de conservar la durabilidad y disponibilidad de sus activos (cuando se hace referencia a activos en el presente estudio, estos son equipos y maquinaria) la mayor parte del tiempo y al menor costo posible. Debido a que el mantenimiento genera un impacto en la producción de un bien o generación de un servicio. El estado del activo afecta directamente a la calidad del producto, al nivel de productividad, competitividad de la organización y puede ahorrar o generar costos. Al momento que falla un activo se desencadena una serie de efectos, tales como: paralización de la producción, cambio en la planificación, retrasos de pedidos, cambios en los tiempos de entrega, costos de reparación del activo y producción. Además, se genera el incumplimiento con clientes, lo que conlleva al desprestigio de la organización. El fallo de un activo también implica riesgos para las personas y efectos negativos para el medio ambiente. Es por esto que el mantenimiento se convierte en pieza fundamental dentro del cumplimiento de los objetivos de la organización.

Según Navarro (2004) “Sólo en contados casos es preciso construir modelos basados en costos y estadísticas” (p. 1). Modelos comprensibles que permitan seleccionar el tipo de mantenimiento y a su vez, que sean de

sencilla aplicación a la realidad organizacional. “El desarrollo e implementación de un modelo real y factible para la gestión global del mantenimiento se ha convertido en un tema de investigación y discusión fundamental para alcanzar un buen desempeño en la gestión de mantenimiento” (Anand, D.; Prasad, R.; Kodali, R., 2006, pp. 141–166).

El presente documento es un estudio propositivo para diseñar un nuevo modelo de selección de mantenimiento. La incorporación de la dimensión económica es necesaria debido a que en los actuales modelos para selección de mantenimiento o bien no es tomada en cuenta o se la analiza en un segundo plano y es una dimensión de suma importancia en las organizaciones. Esto hace referencia al análisis del coste que tendrá la implementación de un plan de mantenimiento y si la organización será capaz de solventar dicho coste, también al marco económico que la organización se haya planteado en su planeación estratégica.

El uso eficiente de los activos de una organización durante su ciclo de vida, permite una correcta definición del nivel de disponibilidad de los mismos, teniendo como meta un nivel de producción de un bien o servicio, o un indicador económico financiero como el ROA, Return On Assets (relación entre el beneficio logrado en un determinado período y los activos totales de una empresa). (Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barberá-Martínez, & Crespo, 2013).



Un adecuado plan de mantenimiento debe cumplir con los objetivos de reducir los costos globales de la organización, asegurar el buen funcionamiento de los activos durante los procesos de producción o generación de un bien, disminuir al máximo los riesgos para las personas y los efectos negativos sobre el medio ambiente. Además, es un factor estratégico de competitividad cuya importancia en el ámbito organizacional crece día a día (Viveros et al., 2013).

Un plan de mantenimiento incluye actividades que aportan al cumplimiento de estrategias planteadas para toda una organización. Estas actividades facilitan la planificación, programación y control del plan de mantenimiento, con un enfoque de mejora continua y tienen en cuenta aspectos económicos fundamentales para la organización. (Viveros et al., 2013)

El mantenimiento no es un proceso aislado y es lo que se pretende demostrar en este estudio, puesto que es pieza fundamental para el correcto desempeño de las organizaciones. Vanneste & Van Wassenhove (1995) afirman. “La situación más deseable es la completa integración de la gestión del mantenimiento dentro del sistema organizacional” (pp. 241–257).

El objetivo principal del presente estudio es diseñar un nuevo modelo de selección de mantenimiento. Evaluar una nueva dimensión, económica, integrando también otras dimensiones en base a los modelos más utilizados, de manera que se ajuste a la realidad de las organizaciones. Un modelo de

sencilla comprensión en su ejecución en base a la mayor cantidad de alternativas para la medición de sus dimensiones, analizando variables usadas en modelos ya creados que servirán como base para definir las dimensiones del nuevo modelo. El modelo de mantenimiento facilitará la selección del tipo de mantenimiento en organizaciones.

2 Desarrollo del modelo

Según Navarro (2004). “Mantenimiento es el conjunto de acciones necesarias para conservar o restablecer un sistema en un estado que permita garantizar su funcionamiento a un coste mínimo” (p. 1). “El desarrollo e implementación de un modelo real y factible para la gestión global del mantenimiento se ha convertido en un tema de investigación y discusión fundamental para alcanzar un buen desempeño en la gestión de mantenimiento, cuyos objetivos están alineados al cumplimiento de los objetivos de la empresa” (Anand et al., 2006). Conforme a lo expuesto anteriormente, es necesario establecer ciertas actividades con el fin de prevenir y/o corregir averías, cuantificar y/o evaluar el estado de las instalaciones tomando en cuenta el aspecto económico. Es por esto que establecer un buen plan de mantenimiento es fundamental para una organización de bienes o servicios.

En las organizaciones, el área de mantenimiento suele estar a un nivel inferior al de producción, debido a que el tema solo suele



ser importante cuando una falla o avería impide cumplir con lo planificado. El costo que origina la falta de un buen plan de mantenimiento y los paros de producción se ven rápidamente, pero los ahorros que se pueden generar con un buen plan de mantenimiento son difíciles de cuantificar inmediatamente. Cada tipo de organización necesita un plan de mantenimiento adecuado a su proceso productivo, pero en ningún caso separado de el mismo (Navarro Elola, Pastor Tejedor, & Mugaburu Lacabrera, 1997).

El mantenimiento posee un aspecto estratégico fundamental, puesto que afecta directamente a: la fiabilidad de los procesos de producción o servicios prestados, la eficiencia energética y aumento de la vida operativa del activo; aspectos que sin duda afectan la productividad y resultados económicos de la organización (Cárcel, 2014).

2.1 Análisis de modelos de selección de mantenimiento existentes

Los modelos de mantenimiento son varios, ya que en muchos casos se elaboran para organizaciones previamente seleccionadas por requerimiento de las mismas. Debido a esto la mayoría de modelos son puntuales y en el caso que no los sean, son creados mediante un análisis de herramientas que mejoran la productividad de una organización, las mismas que son incorporadas al modelo. Los modelos para seleccionar el tipo de mantenimiento en organizaciones no son varios, los más usados y

que serán sujetos a estudio en la presente propuesta son los siguientes:

2.1.1 Análisis modal de fallos y efectos (AMFE).

“El Análisis de Modal de Fallos y Efectos (AMFE), es un método sistemático para detectar y corregir los posibles defectos del producto antes de que este llegue al cliente” (Miranda González, Chamorro Mera, & Rubio Lacoba, 2007, p. 135). Este es un método riguroso de análisis, que usa experiencias de: estudios, métodos, mantenimiento, fabricación y calidad. Es un método cualitativo que permite analizar los tipos de fallos reales o potenciales, sus posibles causas, consecuencias y medios para evitar las mismas. El objetivo de este método es encontrar causas de fallos y evaluar su criticidad teniendo en cuenta frecuencia de aparición y gravedad del fallo (Navarro, 2004, p. 37). Se realiza mediante una hoja estructurada que guía el análisis. La figura 1 muestra que el método AMFE presenta varias secciones sujetas a ser llenadas, cada una de estas posee una definición que debe ser tomada en cuenta previo a proceder con el llenado.



busca erradicar o limitar las averías o fallos que se producen en los activos. Se encuentra basada en el riesgo y realiza un análisis de antecedentes, análisis de fallo y efecto (Failure Mode & Effect Analysis, FMEA), análisis de riesgos y desarrollo de estrategias de mantenimiento basadas en el riesgo.

“El RMC pretende ser un procedimiento para descubrir que mantenimiento es requerido por un recurso en su contexto operativo, en particular que se debe hacer para asegurar la continuidad de las funciones de diseño del sistema” (Márquez, Herguedas, León, Torres, & Blanco, 2001). Dentro de los múltiples sistemas organizativos o filosofías de mantenimiento, el RCM es uno de los más documentados y conocidos dentro de la literatura técnica y científica en relación a la gestión de los activos físicos (Cárcel, Carrión, & Guillamón, 2014).

El método RCM se basa en el principio de que no se realizará ninguna tarea o actividad de mantenimiento preventivo hasta que esté justificada su necesidad, lo que implica un mayor ahorro en los costos. Con este método se decide si es o no necesario dicho mantenimiento, o si debe basarse en el tiempo, condición o estado en el que se encuentre un activo. (Morales, 2013)

Según la página web RENOVE (2012) generalmente para la implementación del modelo RCM se llevan a cabo una serie de actividades secuenciales, como se pueden observar a continuación:

2.1.2.1 Listado y codificación de equipos

RENOVE (2012) afirma que la elaboración de una lista ordenada de activos (equipos, maquinaria) que posee la organización, es el primer paso dentro de la implementación del RCM, ya que poseer dicha lista es clave al intentar realizar un análisis de fallos. Realizar un inventario de activos es algo más complejo de lo que pueda parecer, una simple lista con nombres de los equipos que posee la organización no es útil ni práctica, no es más que una lista de datos, no es una información. Si se quiere elaborar una lista de equipos realmente útil, se debe expresar esta lista en forma de estructura arbórea, en la que se indiquen las relaciones de dependencia de cada uno de los ítems. Al momento de elaborar dicha estructura, se puede distinguir niveles, tal como se muestra en la figura 2. Una organización se divide en varias áreas, estas a su vez tienen similitud de equipos, por lo que se dice que cada una de estas áreas estará formada por un conjunto de equipos, iguales o diferentes; cada equipo, a su vez, está dividido en una serie de sistemas funcionales, que se ocupan de una misión; los sistemas a su vez se descomponen en elementos; los componentes son partes más pequeñas de los elementos, y son las partes que habitualmente se sustituyen en una reparación.



Figura 2 Adaptación de estructura arborea de los niveles de activos. Fuente: RENOVE (2012).

2.1.2.2 Listado de funciones y sus especificaciones

La página web RENOVE (2012) afirma que en esta fase se detallan las funciones que tienen los activos, cuantificando cuando sea posible como se lleva a cabo esa función. Para que el equipo cumpla su función cada uno de los subsistemas en que se subdivide deben cumplir la suya. Para esto, es necesario listar también las funciones de cada uno de los subsistemas. Cada uno de los subsistemas está compuesto por una serie de elementos, es conveniente detallar la función de cada uno de estos elementos pero esto haría que el trabajo fuera interminable, por ello, se detallaran las funciones de unos pocos equipos, que se denominaran ‘equipos significativos’ que como su nombre lo indica son los esenciales en el correcto funcionamiento del activo. De

esta manera, al final se tendrá un listado de tres tipos de funciones:

- Las funciones del sistema en su conjunto
- Las funciones de cada uno de los subsistemas que lo componen
- Las funciones de cada uno de los equipos significativos de cada subsistema

2.1.2.3 Determinación de fallos funcionales y fallos técnicos

El siguiente paso de acuerdo a la página web RENOVE (2012) es determinar fallos funcionales, que son fallos que impiden al sistema totalmente cumplir su función principal, por lo que se lo conoce como el más importante.

Los fallos técnicos son aquellos que no impiden al sistema cumplir su función pero suponen un funcionamiento anormal. Este tipo de fallos suponen funcionamientos anormales que pueden tener como consecuencia una degradación acelerada del equipo y acabar convirtiéndose en fallos funcionales del sistema.

Las fuentes de información para determinar los fallos son muy diversas según RENOVE (2012), entre las principales se encuentran:



2.1.2.3.1 Histórico de averías: Es el estudio del comportamiento de un equipo a través de los documentos en los que se registran las averías anteriores. En algunas organizaciones no existe un archivo histórico de averías fiable, un archivo en el que se hayan registrado de forma sistemática cada una de las averías que haya tenido cada equipo en un periodo determinado. (RENOVE, 2012)

2.1.2.3.2 Personal de mantenimiento: Siempre es conveniente conocer la opinión de quienes realizan el mantenimiento diariamente sobre los incidentes más habituales y las maneras de evitarlos.(RENOVE, 2012)

2.1.2.3.3 Personal de producción: De igual manera la opinión del personal de producción ayudará a identificar los fallos que más interfieren con la operación de la planta.(RENOVE, 2012)

2.1.2.3.4 Diagramas lógicos y diagramas funcionales: Estos diagramas suelen contener información fundamental, para determinar las causas que pueden hacer que un equipo o un sistema se detengan. El estudio de la lógica implementada en el sistema de control puede indicar posibles problemas que pudiera tener la instalación.(RENOVE, 2012)

2.1.2.4 Determinación de los modos de fallos

Continuando con los pasos para la implementación de un RCM, es importante determinar los modos de fallos ya que cada fallo, funcional o técnico, puede presentar, múltiples modos. Cada modo de fallo puede tener a su vez múltiples causas, y estas a su vez otras causas, hasta llegar a las ‘causas raíces’. Se recomienda, analizar los modos de fallos y causas primarias para lograr realizar un análisis de todos los activos en un tiempo prudente (RENOVE, 2012).



2.1.2.5 Estudio de las consecuencias de los fallos (Criticidad)

Según RENOVE (2012) la pregunta a responder en cada modo de fallo es: ¿qué pasa si? La explicación de lo que sucederá es suficiente. A partir de esta explicación, se podrá valorar las consecuencias para la seguridad y el medio ambiente, para la producción y para el mantenimiento.

Existen tres posibles casos: que el fallo sea crítico, importante o tolerable. Para explicar mejor el análisis, se presentan las tablas 1, 2 y 3 en las cuales constan los impactos que una falla puede ocasionar en seguridad y medio ambiente, producción y mantenimiento.

Tabla 1

Análisis de criticidad de fallos en Seguridad y Ambiente. Fuente: RENOVE (2012).

<i>SEGURIDAD Y MEDIOAMBIENTE</i>	
Accidente grave probable.	CRÍTICO
Accidente grave, pero muy poco probable.	IMPORTANTE
Poca influencia en seguridad y medioambiente.	TOLERABLE

Tabla 2

Análisis de criticidad de fallos en Producción.

Fuente: RENOVE (2012).

<i>PRODUCCIÓN</i>	
Supone parada o afecta la potencia o rendimiento.	CRÍTICO
Afecta la potencia y/o rendimiento, pero el fallo es poco probable.	IMPORTANTE
No afecta a la producción.	TOLERABLE

Tabla 3

Análisis de criticidad de fallos en Mantenimiento. Fuente: RENOVE (2012).

<i>MANTENIMIENTO</i>	
Alto coste de reparación (>10.000 USD).	CRÍTICO
Coste medio de reparación (1.000-10.000 USD).	IMPORTANTE
Bajo coste de reparación (<1.000 USD).	TOLERABLE

2.1.2.6 Determinación de las medidas preventivas

Uno de los pasos finales planteados por la página web RENOVE (2012), es determinar medidas preventivas para fallos críticos. Este, es el punto crítico del RCM ya que las



medidas preventivas que se podrían tomar se encuentran relacionadas a tareas de mantenimiento, tales como: trabajos que se pueden realizar para evitar el fallo o minimizar sus efectos, inspecciones visuales, tareas de lubricación, verificaciones del correcto funcionamiento de los equipos con instrumentos propios y externos a la organización, tareas de limpieza.

2.1.2.7 Agrupación de las medidas preventivas

Este paso consiste en, la agrupación de medidas similares y dará como resultado el plan de mantenimiento compuesto por el conjunto de tareas de mantenimiento resultante del análisis de fallos. Pero el plan de mantenimiento no es el único resultado del análisis realizado. También, se llegó a obtener: lista de mejoras y modificaciones que es conveniente realizar en la instalación, actividades de formación para el personal de mantenimiento y de operación, lista de procedimientos de operación y mantenimiento a modificar (RENOVE, 2012).

2.1.2.8 Puesta en marcha de las medidas preventivas

Una vez determinado el nuevo plan de mantenimiento resultado de la agrupación de medidas preventivas, el siguiente y último paso es sustituir el plan anterior por el resultante del estudio realizado. Para la implementación del nuevo plan es necesario

asegurar que todos los implicados conocen y comprenden los cambios para evitar fallas en la puesta en marcha del plan (RENOVE, 2012).

2.2 Análisis de variables de los modelos AMFE y RCM

Los métodos presentados anteriormente, son los modelos base para la elaboración del presente modelo de selección de mantenimiento. Es por esto que el análisis de sus variables es esencial para el estudio. Para el modelo AMFE se tiene opiniones prácticamente similares. Según Warren Gilchrist (1993) el método AMFE no satisface los requerimientos comunes de medida, no existe una regla algebraica precisa para asignar una valoración a los índices de ocurrencia "O" y no detección "D" ya que se basan en las probabilidades de fallo "Po" y en las probabilidades de no detección "Pd". De esta manera efectuar el producto de los tres índices para hallar el NPR (Número de Prioridad de Riesgos) puede causar problemas puesto que la probabilidad de no detección y su correspondiente asignación sigue una ley lineal mientras que la relación entre la probabilidad de ocurrencia y su asignación no respeta esa linealidad. Mientras que para M. Ben Daya & Abdul Raouf (1996) las diferentes valoraciones para los índices "O" y "D" pueden proporcionar el mismo resultado de NPR y tener una implicación de riesgo totalmente diferente. Esto quiere decir que no existe racionalidad en el hecho de obtener el



NPR como el producto de los índices "D", "O" y "G" (índice de gravedad).

Además, “El NPR ignora el efecto de la cantidad producida, ignora una posible ponderación de importancia entre los índices "D", "O" y "G" y no puede medir la efectividad de las medidas correctoras propuestas” (Puente Garcia, Pino Diez, Priore Moreno, & De la Fuente Garcia, 2001). Por otro lado, tenemos al modelo RCM que por mucho que se aplique simplemente no tiene una respuesta porque no existe ninguna fórmula ni base de datos que sea capaz de gestionar la intuición, ese ojo clínico que, con solo un vistazo, permite al médico evaluar los padecimientos de su paciente aunque los análisis de sangre, orina y sabe Dios qué digan que su salud es de acero martensítico (los más duros y mecánicamente resistentes, pero también los más frágiles y menos dúctiles); o ese olfato del detective que sabe por dónde buscar y qué pistas seguir para descubrir al culpable; o ese zumbido que todos hemos sentido alguna vez cuando decimos que tenemos una mosca detrás de la oreja revoloteando (Morales, 2013).

En el RCM se analizan los modos de fallo para encontrar la causa raíz que produjo el fallo/avería. No obstante, la experiencia demuestra que si se trata de hacer un estudio tan exhaustivo, los recursos necesarios son excesivos. El análisis termina abandonándose con pocos avances. Por tanto, es importante definir con qué grado de profundidad se van a estudiar los modos de fallo, de forma que el

estudio sea abordable, sea técnicamente factible (RENOVE, 2012).

Las variables que forman parte de los dos modelos (RCM y AMFE) no satisfacen completamente los requerimientos de la organización; como se pudo observar anteriormente con la opinión de varios expertos especializados en cada modelo. Es por esto que las variables de los dos modelos serán utilizadas como base para la construcción de la primera dimensión del modelo de selección de mantenimiento, para lo cual se ha elaborado como primer paso la tabla 4 a manera de resumen con las variables y el modelo al que pertenecen.

Tabla 4

Variables de los modelos AMFE y RCM.

Fuente: Elaboración Propia.

<i>RCM (Mantenimiento Basado en la Fiabilidad)</i>	<i>AMFE (Análisis Modal de Fallos y Efectos)</i>
Listado y codificación de equipos	Función del equipo
Listado de funciones y especificaciones de equipos	Fallo funcional
Fallos funcionales	Modo de fallo
Fallos técnicos	Causa raíz del fallo
Modos de fallo	Efecto del fallo
Efecto del fallo	Frecuencia del fallo
Gravedad del fallo	Gravedad del fallo
Medidas preventivas (5 tipos)	Detección del fallo
Determinar plan de mantenimiento	Número de prioridad de riesgos (NPR)
	Desarrollar plan de acción

Para realizar el análisis de las características mencionadas desplegadas en

forma de variables, es necesario aplicar una metodología de asociación de variables cualitativas. Para lo cual, se eligió el método de categorización por afinidad. Este método permite agrupar características que posean similitud y organizarlas en grupos en base a criterios afines de relación natural (Barrio, Fraile, & Monzón, 1997, p. 25). Para el análisis se formaron cuatro grupos con sus respectivos encabezados:

- **Funcionalidad:** Son las especificaciones (características) y expectativas de desempeño que se le exigen/esperan al activo que se está analizando.
- **Fallos:** Formas en que el equipo puede dejar de funcionar o funcionar anormalmente. Se expresa en términos

físicos: rotura, aflojamiento, atascamiento, fuga, agarrotamiento, cortocircuito, entre otros.

- **Criticidad:** Representa el impacto de la falla en cuanto a seguridad, ambiente o producción del proceso al cual pertenece; evalúa la flexibilidad operacional, costos de reparación-mantenimiento y confiabilidad.
- **Resultado de análisis:** Son todas aquellas acciones a tomarse después del análisis realizado con cada modelo, representan medidas, y planes obtenidos.

Los grupos establecidos a partir de las variables de los modelos AMFE y RCM, tomando en cuenta los grupos formados anteriormente se presentan en la tabla 5.

Tabla 5

Agrupación de variables de los modelos AMFE y RCM. Fuente: Elaboración Propia.

Funcionalidad		Fallos	
Listado y codificación de equipos	RCM	Fallos funcionales	RCM
Listado de funciones y especificaciones de equipos	RCM	Fallos técnicos	RCM
Función del equipo	AMFE	Fallo funcional	AMFE
		Modos de fallo	RCM
		Modo de fallo	AMFE
		Causa raíz del fallo	AMFE
Criticidad		Resultado del análisis	
Efecto del fallo	RCM	Medidas preventivas (5 tipos)	RCM
Gravedad del fallo	RCM	Determinar plan de mantenimiento	RCM
Efecto del fallo	AMFE	Desarrollar plan de acción	AMFE
Frecuencia del fallo	AMFE	Detección del fallo	AMFE
Gravedad del fallo	AMFE	Número de prioridad de riesgos (NPR)	AMFE
A la derecha de las variables se observa el modelo al que pertenecen.			



Debido a que los modelos poseen variables similares, para simplificar el análisis, se omitió una variable en el caso que en el

grupo se encuentren dos iguales. De esta manera, los grupos formados son los que se muestran en la tabla 6.

Tabla 6

Agrupación final de variables de los modelos AMFE y RCM. Fuente: Elaboración Propia.

Funcionalidad	Fallos
Listado y codificación de equipos	Fallos funcionales
Listado de funciones y especificaciones de equipos	Fallos técnicos
	Modos de fallo
	Causa raíz del fallo
Criticidad	Resultado del análisis
Efecto del fallo	Medidas preventivas (5 tipos)
Gravedad del fallo	Determinar plan de mantenimiento
Frecuencia del fallo	Desarrollar plan de acción
	Detección del fallo
	Número de prioridad de riesgos (NPR)

Una vez determinados los grupos según el método de categorización por afinidad, se procede a realizar una matriz de priorización. El objetivo que se busca es ponderar los cuatro grupos obtenidos para establecer la primera dimensión, que será incorporada al nuevo modelo.

La matriz de priorización es una herramienta para evaluar opciones basándose en una determinada serie de criterios explícitos muy útil para lograr un consenso sobre

determinado tema que permite la selección de opciones sobre la base de la ponderación y aplicación de criterio (Aiteco Consultores, 2013). Para la elaboración de una matriz de priorización se llevan a cabo una serie de pasos:

El primer paso consiste en determinar los elementos que serán sujetos a priorizar. En este caso, los grupos a priorizar fueron determinados anteriormente, razón por la cual los cuatro grupos (elementos) son: 1.



Funcionalidad, 2. Fallos, 3. Criticidad, 4. Resultado de análisis.

El segundo paso consiste en determinar los criterios a evaluar para los elementos. Los criterios han sido seleccionados en base a las necesidades estudiadas dentro del mantenimiento, en base a la experiencia que proporciona el manejo frecuente del tema; es así que se obtienen tres criterios estratégicos para la priorización. El primero es la importancia; es decir, qué tan importante es el elemento al momento de decidir o implementar mantenimiento, si es útil o no en comparación con el resto de elementos. El segundo es el nivel de análisis que proporciona el elemento al momento de definir un tipo de mantenimiento. Por último, el nivel de cobertura que posee el elemento. Este hace referencia a que si el elemento dentro de su concepto abarca algún otro dentro de la lista, es decir si dentro del elemento se encuentra implícito algún otro.

De esta manera, se tiene el cuadro de elementos a priorizar mostrados en la tabla 7 y el de criterios a evaluar en la tabla 8.

Tabla 7

Elementos a priorizar para matriz de priorización. Fuente: Elaboración Propia.

Elementos a priorizar
1 Funcionalidad
2 Fallos
3 Criticidad
4 Resultado de análisis

Tabla 8

Criterios a evaluar para matriz de priorización. Fuente: Elaboración Propia.

Criterios a evaluar
1 Importancia
2 Nivel de análisis
3 Cobertura

Como tercer paso se define la escala de valoración. La escala a utilizarse para la valoración se encuentra formada por cinco niveles de respuesta debido a que se aplicó una escala tipo Likert que recomienda el uso de cinco niveles como promedio para la calificación de actitudes. La escala de tipo Likert es “un método de escala bipolar que mide tanto el grado positivo como neutral y negativo de cada enunciado por lo que las etiquetas usadas varían de un extremo al otro, y los valores numéricos que tomaran estas etiquetas también” (Malave, 2007). Es por esto que para la construcción de la escala, para este caso, consta de cinco niveles, siendo el valor de uno, muy en desacuerdo y cinco, muy de acuerdo, como se verá en la tabla 9.

Tabla 9

Escala de valoración para matriz de priorización. Fuente: Malave (2007).

Escala de valoración
1 Muy en desacuerdo
2 En desacuerdo
3 Indeciso
4 De acuerdo
5 Muy de acuerdo

Como último paso, se efectúa el análisis correspondiente. El análisis realizado fue producto de la aplicación de la escala de valoración. En la cual se analizó ítem por ítem su nivel, de acuerdo a los criterios establecidos, se obtuvo la suma horizontal de

los valores de cada ítem, se obtuvo la sumatoria total y se obtuvo el valor de cada peso para cada opción. Los resultados obtenidos después del análisis se presentan en la tabla 10.

Tabla 10

Matriz de priorización. Fuente: Elaboración Propia.

Elementos/ Criterios	1. Importancia	2. Análisis	3. Cobertura	Suma total	Pesos obtenidos	% ponderación
1. Funcionalidad	3	2	2	7	0,15	15,22
2. Fallos	4	4	3	11	0,24	23,91
3. Criticidad	5	5	5	15	0,33	32,61
4. Resultado de análisis	3	5	5	13	0,28	28,26
	15	16	15	46	1	100

Una vez concluido el análisis de variables de los modelos AMFE y RCM, se determinó que la dimensión a incluirse en el nuevo modelo es la *criticidad*, ya que representa las variables más importantes de ambos y es el resultado del análisis combinado de los modelos más conocidos y usados en mantenimiento.

2.3 Definición de dimensiones de estudio

Como se estableció inicialmente, el objetivo de diseñar un nuevo modelo de selección de mantenimiento surge de la necesidad de incorporar la dimensión económica, puesto que los modelos usados mayormente no

realizan un análisis de dicha dimensión. Es por eso también que, se buscó definir la dimensión que abarque las variables más importantes de dos de los modelos más conocidos dentro del mantenimiento por las organizaciones. Es por esta razón que, producto del análisis realizado con dos modelos, resultó la dimensión Criticidad. Realizar un análisis de criticidad resulta importante para las organizaciones ya que no todas utilizan similares activos para la obtención de su producto o servicio final. El análisis de criticidad es una metodología utilizada en varios ámbitos que permite jerarquizar sistemas y/o equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones, enfocando el esfuerzo y los recursos hacia áreas, sistemas o equipos



donde sea más importante o necesario mejorar la confiabilidad operacional. Permite generar una lista ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado diferenciando tres zonas de clasificación: alta criticidad, media criticidad y baja criticidad (Del Castillo Serpa, Brito Ballina, & Fraga Guerra, 2009). Para realizar el análisis de criticidad es indispensable que la organización posea una lista detallada de sus activos y que se conozca el impacto que podría generar una falla en alguno de ellos, impacto hace referencia al impacto general que pueda ocasionar, tanto en producción, medio ambiente hasta la salud de las personas.

Al tener plenamente establecido cuales sistemas son más críticos, se podrá establecer de una manera más eficiente la priorización de los programas y planes de mantenimiento de tipo: predictivo, preventivo, correctivo, detectivo e inclusive posibles rediseños al nivel de procedimientos y modificaciones menores; inclusive permitirá establecer la prioridad para la programación y ejecución de órdenes de trabajo. (Huerta Mendoza, 2005, p. 14)

El análisis de criticidad es de suma importancia al momento de establecer un adecuado plan de mantenimiento. Es por esto y por el análisis previamente realizado que, la criticidad es la primera dimensión a evaluarse en este nuevo modelo.

La incorporación de una dimensión que permita analizar la parte económica de un plan

de mantenimiento, es la parte central del presente estudio.

La gestión de mantenimiento se basa en el uso de un gran número de técnicas con las que, globalmente, se tiende a incorporar su actuación alineándola con los objetivos de la compañía. Y una de las herramientas básicas en este proceso es la gestión de los costes directos que el mantenimiento genera durante su actuación. Y es tanto así que en muchos casos el costo de mantenimiento se considera el principal elemento a controlar en dicha gestión. (Maza, 2014)

La incorporación de la dimensión económica, se debe a que dentro de las organizaciones existe un gasto anual de mantenimiento que forma parte del presupuesto anual de mantenimiento. Este gasto anual debe ser el menor posible de manera que no afecte a las utilidades. Si bien lo que se tratará de evaluar en el presente estudio es una estimación del costo que tendría implementar cualquier tipo de mantenimiento, se buscará hacerlo lo más cercano a la realidad. Debido a esto, se plantea que no todas las organizaciones son iguales tanto en tamaño como en infraestructura lo que llevaría a un análisis errado si no se incorpora una dimensión que permite clasificar a las organizaciones.

Las organizaciones no siempre poseen la misma capacidad económica y no es lo mismo decir una organización con cinco equipos críticos que posee una gran infraestructura que una con un equipo crítico relativamente



pequeña. Las dos poseen equipos críticos, las dos desean tener un nivel de gastos de mantenimiento bajos pero ambas no poseen la misma capacidad económica, puesto a que son diferentes en tamaño.

El tamaño de la organización resulta importante al momento de decidir el tipo de mantenimiento, ya que si se quiere diseñar un modelo lo más cercano a la realidad de las organizaciones, se debe considerar que no todas son iguales y clasificarlas según su tamaño resulta lo más lógico a la hora de acercarse a la realidad.

La criticidad de los activos, que tan “costoso” puede resultar el implementar un tipo de mantenimiento, el nivel económico que asume la organización y el tipo de organizaciones existentes medidas de acuerdo a su tamaño son las dimensiones a evaluarse en el diseño del presente modelo de selección.

2.4 *Elaboración del modelo (Análisis de dimensiones)*

Una vez determinadas cuáles serán las dimensiones de estudio del presente modelo, se debe definir el método aplicable a cada una para su posterior análisis:

2.4.1 *Dimensión económica*

La dimensión económica como se dio a conocer previamente, va entrelazada con el coste que asumiría la organización con la selección del tipo de mantenimiento. Es por esto que dar a conocer los tipos de

mantenimiento que el presente modelo abarcará, se ve necesario. Los tipos de mantenimiento varían de bibliografía a bibliografía desde, los tipos clásicos que se conoce tales como preventivo y correctivo hasta mantenimiento cero horas y mantenimiento en uso; pero estos últimos pueden ser parte de tipos de mantenimientos conocidos.

La variedad encontrada en bibliografía, no dificultó el estudio de los tipos de mantenimiento puesto que para el presente modelo se tomaron en cuenta los tipos más comunes de mantenimiento, como son: Correctivo, Preventivo y Predictivo.

Mantenimiento correctivo, como su nombre lo indica, es aquel que se lo efectúa como corrección a fallos presentados en los activos de la organización. “Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentados en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos” (Garrido, 2000, p. 17).

Mantenimiento preventivo, es aquel que intenta adelantarse a la aparición de fallos y los previene mediante acciones previas. “Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las correcciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno” (Garrido, 2000, p. 17)

Mantenimiento predictivo es aquel que persigue conocer y mantener información sobre el estado y operatividad de los activos



mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables representativas, para esto es necesario identificar variables físicas cuya variación pueda representar fallas en el activo (Garrido, 2000). Las técnicas de mantenimiento predictivo más conocidas son: inspección visual, ultrasonido, termografía, análisis de vibraciones, inspección radiográfica, análisis de lubricantes, entre otros.

Dentro de los costos de mantenimiento, en el correctivo se consideran dos tipos de situaciones: sustitución de elementos o conjuntos y reparación propiamente dicha. La primera hace referencia al desmontaje de piezas/conjuntos y su sustitución después de la reparación y se caracteriza por: rapidez en la respuesta al fallo, bajo coste en la mano de obra aplicada en la reparación y costes elevados en material y recambios empleados. Y la segunda, hace referencia a la intervención realizada que incluye todo tipo de operaciones de reparación como son: desmontajes, sustitución de piezas, ajustes, reconstrucción de componentes, entre otros; y se caracteriza por: difícil planificación del tiempo de

intervención, elevado coste de la mano de obra empleada y costes bajos en material y recambios empleados (Rey Sacristán, 2001).

Este análisis, si bien nos sirve para conocer un aproximado de costos en el mantenimiento correctivo, no es una directriz general, más bien hace un análisis puntual y minucioso para el caso del tipo correctivo. Es por esto, que si bien, es información importante, no es esencial para este modelo ya que la información buscada es aquella que nos genere una idea general de los costes de mantenimiento.

Según Tavares (1999) el costo se relaciona con el tiempo y lo representa claramente en una sola figura, misma que no requiere mayor explicación, salvo el caso que mantenimiento por ruptura hace referencia a mantenimiento correctivo, de prevención es el mantenimiento predictivo y el planificado al mantenimiento preventivo. La figura 3 representa mediante curvas la relación entre tipo de mantenimiento y costos de cada uno a lo largo del tiempo.

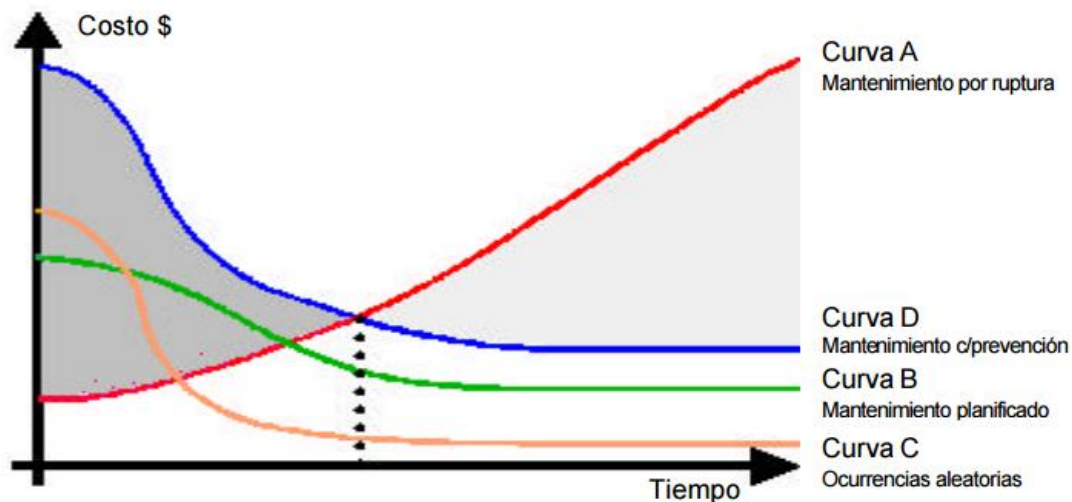


Figura 3 Gráfica de costos frente a tiempo en mantenimiento. Fuente: Tavares (1999).

El análisis de la figura 3, se lo realizó estableciendo rangos similares para los ejes tiempo y costo. En primer lugar, se estableció el rango de análisis que se presenta en la tabla 11. Luego, se dividió la figura 3 en partes iguales para establecer la tendencia de las curvas asignadas para cada tipo de mantenimiento según los rangos previamente establecidos como se puede observar en la figura 4. Como resultado se obtuvo la tabla 12 que muestra a manera de resumen, el rango económico que toman las curvas a lo largo del tiempo.

Tabla 11

Rangos a evaluarse en la dimensión económica. Fuente: Tavares (1999).

	Costo Muy Bajo
	Costo Bajo
	Costo Medio
	Costo Alto
	Costo Muy Alto

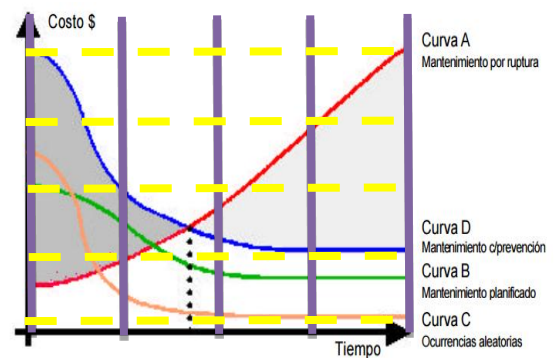


Figura 4 División de ejes en la gráfica de costos. Fuente: Tavares (1999).

Tabla 12

Resultado del análisis a la dimensión económica. Fuente: Elaboración Propia.

Tipo de mantenimiento	Tiempo muy corto	Tiempo corto	Tiempo medio	Tiempo largo	Tiempo muy largo
Mantenimiento por ruptura (correctivo)	B	B	M	A	MA
Mantenimiento de prevención (predictivo)	MA	M	B	B	B
Mantenimiento planificado (preventivo)	M	B	B	B	B



El resultado del análisis es, la clasificación de la evaluación económica según la tendencia de las curvas de mantenimiento a lo largo del tiempo. Para el presente estudio, se tomará un único tiempo que es el inicial de la figura 3 (tiempo muy corto en la tabla 12).

2.4.2 Dimensión tamaño de la organización

Tradicionalmente se conoce que las organizaciones se dividen en pequeñas, medianas y grandes, esto en base a criterios que determinan el tipo de organización. Algunos de los criterios más utilizados son: el económico que clasifica de acuerdo al volumen de facturación que no es más que el índice de ingresos obtenidos por ventas; el técnico que se refiere al nivel tecnológico que posee la organización, al patrimonio que posee cierta similitud con el económico ya que mide el patrimonio de la organización y el criterio organizativo que hace referencia al número de trabajadores (BBVA, 2012).

El criterio organizativo es el más aceptado al momento de tener una aproximación al tamaño de una organización. Es por esto que, existe similitud de criterios al momento de establecer el número de trabajadores correspondiente a cada subdivisión de tamaño. En la tabla 13, se muestra la clasificación típica para organizaciones en su mayoría de todo tipo, incluyendo el tipo de microempresa ya que es una de las más comunes.

Tabla 13

División de empresas según el criterio organizativo. Fuente: BBVA (2012).

<i>Tipo de empresa</i>	<i>Número de trabajadores</i>
Microempresa	Menor a 10
Pequeña empresa	De 10 a 49
Mediana empresa	De 50 a 250
Grande empresa	Mayor a 250

2.4.3 Dimensión análisis de criticidad

El análisis de criticidad hace referencia a la jerarquización de activos, con el objetivo principal de estratificar los mismos para obtener desde el activo más crítico hasta el menos crítico. Se toman en cuenta dos parámetros fundamentales, la frecuencia del fallo y el impacto que el mismo genera en: nivel de producción, seguridad, ambiente, tiempo promedio de reparación y costo de reparación. Estos impactos son tomados de la metodología de puntos que se utilizará para medir la criticidad en el presente estudio.

El concepto de criticidad es similar al de riesgo y se comporta como una balanza que permite ponderar la influencia de varias alternativas en términos de su impacto y probabilidad. (Gutiérrez, Aguero, & Calixto, 2007)

Al tener plenamente establecido cuales sistemas son más críticos, se podrá establecer

de una manera más eficiente la priorización de los programas y planes de mantenimiento de tipo: predictivo, preventivo, correctivo e inclusive posibles rediseños al nivel de procedimientos y modificaciones menores; inclusive permitirá establecer la prioridad para la programación y ejecución de órdenes de trabajo (Huerta Mendoza, 2005).

El análisis de criticidad permite trabajar en rangos; es decir, establecer cuál sería la condición más favorable, así como la condición menos favorable de cada uno de los criterios a evaluar. Existen diversos métodos de jerarquización de activos, en donde, la mayoría evalúa cualitativa y/o cuantitativamente el comportamiento de fallas y sus consecuencias. El método que será utilizado para evaluar la dimensión de criticidad es semi-cuantitativo, ya que establece rangos de valores entre los cuales se podrán estimar los diferentes parámetros que serán sujetos a medición.

“La base fundamental de este enfoque es el establecimiento de un sistema de puntos para valorar la criticidad; y de una matriz cuyos rangos de frecuencia y consecuencia se expresan en “puntos”” (Gutiérrez et al., 2007, p. 8).

La figura 5 muestra la metodología de análisis de criticidad por puntos. Se comienza, asignando un valor a la frecuencia de falla, este valor es único (eje vertical) y representa a la probabilidad en la ecuación matemática básica $\text{Criticidad} = \text{Probabilidad} \times \text{Consecuencia}$. Posteriormente, se procede a asignar un valor de acuerdo a lo que corresponda en las siguientes opciones. Mediante la fórmula: $\text{Impacto Total} = (\text{Nivel de producción} \times \text{Tiempo Promedio Para Reparar}) + \text{Costo de reparación} + \text{Impacto en la Seguridad} + \text{Impacto Ambiental}$, se obtiene el valor correspondiente al eje horizontal de la figura 5. Por último, con el cruce de puntos de los ejes se obtiene el grado de criticidad de los mismos. Los rangos de valores, y la metodología en sí, se muestran en la figura 5.



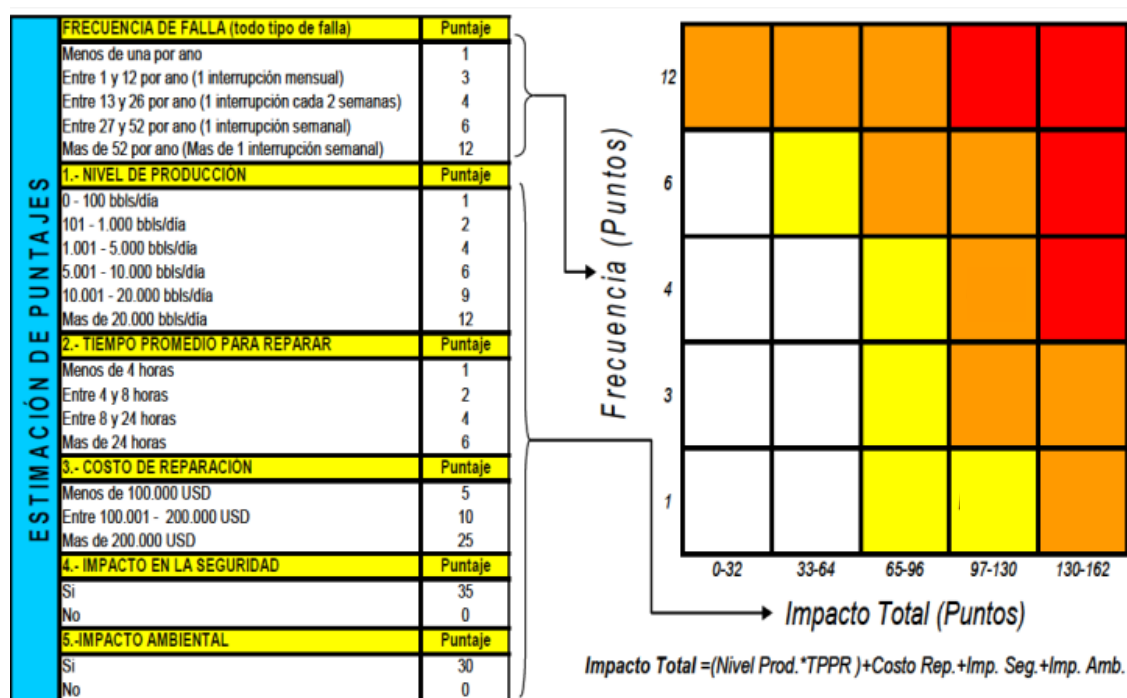


Figura 5 Metodología de análisis de criticidad por puntos, de donde ISSED significa: Instalaciones, sistemas, Equipos y Dispositivos. Fuente: Gutiérrez et al. (2007).

2.5 Modelo de selección de mantenimiento

El análisis de cada dimensión de estudio conlleva al paso final de la elaboración del modelo de selección de mantenimiento, la síntesis de la aplicación del mismo, una vez definida la metodología de análisis para cada dimensión.

La elaboración del modelo se genera a partir de la figura 5, que muestra la metodología por puntos para el análisis de criticidad. Esta metodología es la que se usó inicialmente en el modelo.

Antes de iniciar con la aplicación del nuevo modelo, se debe tener claro cuál será el activo sujeto a evaluación, ya que debido a la sencilla aplicación del presente modelo, este analiza un activo a la vez. En el caso que se

desea aplicar a varios activos, se debe previamente clasificarlos según similitudes en cuanto a frecuencia de fallas y consecuencia de las mismas. Caso contrario, el tipo de mantenimiento resultado de la aplicación será erróneo.

La aplicación del modelo es relativamente simple, el reto está en conocer los datos históricos del activo a evaluarse. Con esta información, se conoce la frecuencia con la que el activo presenta fallas. En el caso que el activo sea nuevo, en las especificaciones técnicas que entrega el proveedor al momento de la compra se encuentra establecido cada cuanto se debería realizar el mantenimiento, lo que funciona para conocer el tiempo que el activo opera sin problemas. También, los datos históricos son útiles para obtener información acerca de: impactos ambientales y de



seguridad, el tiempo medio que suele utilizarse para reparar, y lo más importante, la pérdida que genera en la producción.

Una vez que la organización posea los datos históricos, se procede a aplicar el modelo de selección de mantenimiento generado a partir de los diferentes análisis anteriormente presentados. Para esto, se ha elaborado una secuencia de pasos a seguir para que la aplicación del modelo resulte más sencilla en su ejecución.

Paso 1: Información histórica del activo a evaluarse. Este paso, es una síntesis de la explicación anterior sobre los datos históricos.

Paso 2: Asignación de puntos a cada variable dentro de la dimensión “Análisis de Criticidad”. Para este paso, se realizó la adaptación del grafico de la metodología por puntos. La tabla 14 muestra los valores correspondientes a cada asignación para su posterior cálculo.

Tabla 14

Adaptación de asignación de puntajes para Análisis de Criticidad. Fuente: Gutiérrez et al. (2007).

FRECUENCIA DE FALLA	
	Puntaje
Menos de una por año	1
Entre 1 y 12 por año (1 interrupción mensual)	3
Entre 13 y 26 por año (1 interrupción cada 2 semanas)	4
Entre 27 y 52 por año (1 interrupción semanal)	6
Más de 52 por año (Más de 1 interrupción semanal)	12

CONSECUENCIA DE FALLA	
1. NIVEL DE PRODUCCIÓN	Puntaje
Perdidas entre 0 y 1 hora de producción	1
Perdidas entre 1 y 2 horas de producción	2
Perdidas entre 2 y 6 horas de producción	4
Perdidas entre 6 y 12 horas de producción	6
Perdidas entre 12 y 24 horas de producción	9
Perdidas mayores a 24 horas de producción	12
2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARACIÓN	Puntaje
Menos de 4 horas	1
Entre 4 y 8 horas	2
Entre 8 y 24 horas	4
Más de 24 horas	6
3. COSTO DE REPARACIÓN	Puntaje
Menos de \$100.000	5
Entre \$100001-\$200.000	10
Más de \$200.000	25
4. IMPACTO EN LA SEGURIDAD	Puntaje
Si	35
No	0
5. IMPACTO AMBIENTAL	Puntaje
Si	30
No	0

Paso 3: Una vez realizada la asignación de puntaje, para calcular el impacto total, se utiliza la siguiente fórmula de cálculo:

(Nivel de producción x Tiempo Promedio Para Reparación) + Costo Reparación + Impacto en Seguridad + Impacto en Ambiente

Ecuación 1 Fórmula para calcular impacto total en el análisis de criticidad. Fuente: Gutiérrez et al. (2007).

Paso 4: Obtenidos los valores de frecuencia e impacto total, en la figura 6, se realiza una ubicación en los dos ejes de los puntos y se identifica el grado de criticidad que posee el activo.

	Criticidad Muy Alta
	Criticidad Alta
	Criticidad Media
	Criticidad Baja

Frecuencia (Puntos)	12					
	6					
	4					
	3					
	1					
		0-32	33-64	65-96	97-130	131-162
		Impacto total en puntos				

Figura 6 Matriz de identificación de grado de criticidad. Fuente: Gutiérrez et al. (2007).

Paso 5: El siguiente paso, es determinar el tamaño de la organización a la que pertenece el activo que se está evaluando. Para esto, en la tabla 13, se estableció previamente la división a usarse en cuanto a tamaño de la organización.

Paso 6: Una vez definidos el tamaño de la organización y el grado de criticidad del equipo, se puede asignar según la capacidad económica de la organización, el nivel de costos que estaría dispuesta a asumir con el plan de mantenimiento. Y si bien, no se deduce todavía cuanto estarían dispuestos a asumir por el plan de mantenimiento, se puede realizar un análisis posterior, luego de conocer el resultado.

Paso 7: Selección del plan de mantenimiento, como se conocen de manera cualitativa los resultados de los análisis previos, únicamente mediante deducción grafica (intersección de resultados) se logrará establecer el plan de mantenimiento indicado para el activo o el conjunto de activos. Para esto se presenta la figura 7 que, es la representación gráfica final del modelo de selección de mantenimiento elaborado.

La figura 7, muestra de manera clara y sencilla la síntesis de todo lo que se ha investigado y cuál es el tipo de mantenimiento apropiado para cada activo según condiciones reales y aplicables a organizaciones hoy en día.

Paso 8: Tomar la decisión adecuada para la organización y para la durabilidad del activo.



<i>Tipo de Mantenimiento</i>	
	Correctivo
	Preventivo
	Predictivo

<i>Evaluación Económica</i>	<i>Muy Alto</i>								
	<i>Alto</i>								
	<i>Medio</i>								
	<i>Bajo</i>								
	<i>Muy bajo</i>								
		<i>Baja</i>	<i>Media</i>	<i>Alta</i>	<i>Muy Alta</i>				
		<i>Criticidad</i>							

Figura 7 Modelo de Selección de Mantenimiento. Fuente: Elaboración Propia.



3 Conclusiones

El nuevo modelo de selección de mantenimiento, se elaboró en base a realidades organizacionales. Estableciendo metodologías claras y precisas para el análisis de tres dimensiones: evaluación económica, criticidad del activo y, tamaño de la organización.

La nueva dimensión incorporada en este modelo, evaluación económica, se la analizó en base a bibliografía sobre cada tipo de mantenimiento y el nivel de costo que la organización incurre al momento de decidir adoptar un plan de mantenimiento a lo largo del tiempo. Mediante un gráfico explicativo, se resume el sustento teórico para definir la relación existente entre costo y tipo de mantenimiento. De igual manera mediante el análisis del gráfico (figura 3), se obtuvo el punto de partida para la elaboración de la dimensión económica.

La elaboración de la dimensión criticidad del activo, que fue resultado del análisis de variables aplicado para los modelos AMFE y RCM, lleva a la conclusión que los datos históricos de: frecuencias de fallos e impactos generados en los diferentes ámbitos, producción, costos, tiempo de reparación, ambiente y seguridad, de los activos demuestran ser un punto clave al momento de la toma de decisiones. Debido a que en base a estos, se define el grado de criticidad de cada activo, y esta representa una dimensión crítica dentro de la aplicación del presente modelo. Adicionalmente para esta dimensión se hizo la

adaptación respectiva de la metodología por puntos para la respectiva puntuación de la dimensión.

La última dimensión que forma parte del presente modelo, tamaño de la organización, se planteó en base a criterios organizativos para determinar en qué rango de tamaño se encuentran las diferentes organizaciones que deseen realizar la aplicación del modelo.

El modelo de selección de mantenimiento elaborado, se resume en la aplicación de ocho pasos, teniendo en cuenta que la ejecución del mismo se lo debe realizar con expertos que tengan acceso a datos históricos de la organización y posean el conocimiento adecuado en el ámbito de mantenimiento. Además, el paso número siete es el más importante puesto que es la aplicación directa de los resultados de la evaluación de las dimensiones. Como se observó en la figura 7, el modelo de selección es únicamente la intersección entre los resultados obtenidos.

Finalmente, la falta de bibliografía y estudios en el área de mantenimiento, dificultó medianamente la elaboración del presente documento. Aun así, se logró elaborar un modelo de sencilla aplicación en su ejecución y acercado a la realidad organizacional actual, resumido en ocho sencillos pasos.



Agradecimientos

“A mis padres, John y María, a mis hermanas por su apoyo constante y cariño infinito durante toda mi carrera.

A mis amigos y amigas que han hecho de esta etapa de mi vida, la mejor.

Al Ing. Paúl Álvarez tutor del presente trabajo de titulación por su ayuda y compromiso durante la elaboración del mismo”.

Bibliografía

Aiteco Consultores. (2013). Matriz de Priorización - Herramientas de la Calidad. Recuperado el 27 de junio de 2016, a partir de [http://www.aiteco.com/matriz-de-](http://www.aiteco.com/matriz-de-priorizacion/)

[priorizacion/](http://www.aiteco.com/matriz-de-priorizacion/)

Anand, D.; Prasad, R.; Kodali, R. (2006). Development of a framework for world-class, 5.

Barrio, J. F. V., Fraile, F. G., & Monzón, M. T. (1997). *Las siete nuevas herramientas para la mejora de la calidad*. FC Editorial.

BBVA. (2012). ¿Cómo se clasifican las empresas en función de su tamaño?

Recuperado el 7 de julio de 2016, a partir de

<http://www.bbvacontuempresa.es/a/se-clasifican-las-empresas-funcion-su-tamano>

Cárcel Carrasco, F. J. (2014). *La Gestión Del Conocimiento En La Ingeniería Del Mantenimiento Industrial: Investigación Sobre La Incidencia En Sus Actividades Estratégicas*. OmniaScience.

Cárcel Carrasco, F. J., Carrión, J. G., & Guillamón, M. P. (2014). Sistemas de organización del mantenimiento: el conocimiento y la experiencia en TPM y RCM. *Mantenimiento: ingeniería industrial y de edificios*, (276), 12–17.

Del Castillo Serpa, A. M., Brito Ballina, M. ., & Fraga Guerra, E. (2009). Análisis de criticidad personalizados, *12*(3), 1–12.

Garrido, S. G. (2000). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Ediciones Díaz de Santos. Recuperado a partir de <http://public.ebiblib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3157912>

Gutiérrez, E., Agüero, M., & Calixto, I. (2007). Análisis de Criticidad Integral de Activos, 14.



- Huerta Mendoza, R. (2005). El Análisis de Criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. Recuperado a partir de http://www.mantenimientoplanificado.com/Articulos%20gesti%C3%B3n%20mantenimiento_archivos/de%20confiabilidad/ANALISIS%20DE%20CRITICIDAD.pdf
- M. Ben-Daya, & Abdul Raouf. (1996). A revised failure mode and effects analysis model. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 13(1), 43–47. <http://doi.org/10.1108/02656719610108297>
- Malave, N. (2007, febrero). Trabajo Modelo Para Enfoques De Investigación Acción Participativa Programas Nacionales de Participación, Escala Tipo Likert. Maturín. Recuperado a partir de <http://uptparia.edu.ve/documentos/F%C3%ADsico%20de%20Escala%20Likert.pdf>
- Márquez, A. C., Herguedas, A. S., León, P. M. de, Torres, J. M. F., & Blanco, J. M. L. (2001). INTEGRACION DE MODELOS CUANTITATIVOS DE MANTENIMIENTO DENTRO DEL METODO RCM..
- Maza, J. P. (2014). La gestión de los costes de Mantenimiento. *Mantenimiento: ingeniería industrial y de edificios*, (280), 24–28.
- Miranda González, F. J., Chamorro Mera, A., & Rubio Lacoba, S. (2007). *Introducción a la gestión de la calidad*. Las Rozas (Madrid: Delta.
- Morales, A. E. G. (2013). El Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM) versus la cuenta de la vieja. *Revista general de marina*, 264(4), 641–644.
- Navarro, J. D. (2004). *Técnicas de Mantenimiento Industrial*.
- Navarro Elola, L., Pastor Tejedor, A. C., & Mugaburu Lacabrera, J. M. (1997). *Gestión integral de mantenimiento*. Barcelona: Marcombo. Recuperado a partir de <http://site.ebrary.com/id/10352641>
- Puente García, J., Pino Díez, R., Priore Moreno, P., & De la Fuente García, D. (2001). Sistema de Decisión Borroso para la Aplicación del Análisis Modal de Fallos y Efectos AMFE (p. 8).



Presentado en IV Congreso de
Ingeniería de Organización, Sevilla.

Recuperado a partir de
[http://adingor.es/congresos/web/uploa
ds/cio/cio2001/calidad/UNIOVI-1.pdf](http://adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2001/calidad/UNIOVI-1.pdf)

RENOVE. (2012). ¿Qué es RCM? Recuperado
el 14 de junio de 2016, a partir de
[http://www.mantenimientopetroquimi
ca.com/rcm.html](http://www.mantenimientopetroquimica.com/rcm.html)

Rey Sacristán, F. (2001). *Manual del
mantenimiento integral en la empresa*.
Madrid: Fundación Confemetal.

Tavares, L. (1999). *Administración Moderna
de Mantenimiento*. Brasil: Novo Polo
Publicacoes.

Vanneste, S. G., & Van Wassenhove, L. N.
(1995). An integrated and structured
approach to improve maintenance, 82.

Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F.,
Barberá-Martínez, L., & Crespo, A.
(2013). Propuesta de un modelo de
gestión de mantenimiento y sus
principales herramientas de apoyo.
*Ingeniare: Revista Chilena de
Ingeniería*, 21(1), 125–138.

Warren Gilchrist. (1993). Modelling Failure
Modes and Effects Analysis.
International Journal of Quality &

Reliability Management, 10(5).

<http://doi.org/10.1108/0265671931004>

0105